

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2003-530716

(P2003-530716A)

(43) 公表日 平成15年10月14日 (2003.10.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/28	3 0 1	H 0 1 L 21/28	3 0 1 B 4 M 1 0 4
			L 5 F 0 3 3
21/3205		21/88	J

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2001-575476(P2001-575476)
 (86) (22) 出願日 平成13年3月30日 (2001.3.30)
 (85) 翻訳文提出日 平成14年10月11日 (2002.10.11)
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 0 1 / 1 0 2 8 9
 (87) 国際公開番号 W O 0 1 / 0 7 8 1 2 0
 (87) 国際公開日 平成13年10月18日 (2001.10.18)
 (31) 優先権主張番号 0 9 / 5 4 6 , 8 2 1
 (32) 優先日 平成12年4月11日 (2000.4.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 クリー インコーポレイテッド
 C R E E I N C .
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州
 27703 ダラム シリコン ドライブ
 4600
 (72) 発明者 リング, ソルタン
 アメリカ合衆国ノース・カロライナ州
 27713, ダーラム, オールド・フォック
 ス・トレイル 327
 (74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 炭化珪素においてビアを形成する方法、及び得られるデバイスと回路

(57) 【要約】

望ましくないインダクタンスを引き起こし得るワイヤーボンディングを排除する、炭化珪素基板上で集積回路を作製する方法を開示する。該方法は、炭化珪素基板の第一表面上で半導体デバイスと、基板の第一表面上においてデバイスのための少なくとも1つの金属コンタクトを作製することを含む。次に、実質的に透明になるまで、基板の反対側にある第二表面を研磨する。次に、該方法は、炭化珪素基板の研磨された第二表面をマスキングして、第一表面上にあるデバイス金属コンタクトとは反対側に存在するビアのために所定の位置を画成する工程；エッチングが第一表面上にある金属コンタクトに達するまで、所望のマスキングされた場所を貫通させて所望のビアをエッチングする工程；及びビアを金属化して、基板の第二表面から、基板の第一表面上にある金属コンタクトとデバイスまで、電気的コンタクトを提供する工程を含む。

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

- 【請求項1】 それぞれ第一表面及び第二表面を有する炭化珪素基板；
該炭化珪素基板を完全に貫通して延びている導電性ビア；
該炭化珪素基板の該第一表面上において該ビアの上にある導電性コンタクト；
及び
該導電性コンタクトが電氣的コンタクトを含んでいる該基板において形成されるデバイス
を含む、炭化珪素基板において形成される半導体デバイス。
- 【請求項2】 該導電性ビアを金属化する請求項1記載の半導体デバイス。
- 【請求項3】 該炭化珪素基板の少なくともいくつかの部分が、半絶縁性である請求項1記載の半導体デバイス。
- 【請求項4】 該導電性コンタクトが、インジウム・錫・酸化物を含む請求項1記載の半導体デバイス。
- 【請求項5】 該インジウム・錫・酸化物コンタクトを、貴金属でコーティングする請求項4記載の半導体デバイス。
- 【請求項6】 該炭化珪素基板上に少なくとも1つのエピタキシャル層を更に含み、且つ該ビアが、該エピタキシャル層を完全に貫通し、また該基板を貫通して延びている請求項1記載の半導体デバイス。
- 【請求項7】 該デバイスを該エピタキシャル層において形成し、該導電性コンタクトが該エピ層に対して存在している請求項6記載の半導体デバイス。
- 【請求項8】 該炭化珪素基板を完全に貫通して延びている2またはそれ以上のビアを含み、各ビアが、該基板の該第一表面上において、該基板中にあるデバイスに対して電氣的コンタクトを形成する導電性コンタクトでカバーされている請求項1記載の半導体デバイス。
- 【請求項9】 それぞれ第一表面及び第二表面を有する研磨された透明な炭化珪素基板；
該基板の該第一表面上に炭化珪素エピ層；
該エピ層上に半導体デバイス；
該デバイスに対して、該エピ層上に導電性コンタクト；

該デバイスを含む該エピ層全体をカバーするポリマーコーティング；及び
該研磨された透明な基板の該第二表面上にある、インジウム・錫・酸化物及び
酸化マグネシウムから成る群より選択される透明層
を含む回路前駆体。

【請求項10】 該インジウム・錫・酸化物層上にフォトレジスト層を更に
含む請求項9記載の回路前駆体。

【請求項11】 該フォトレジストから、該デバイスのための該導電性コン
タクトまで、該前駆体を貫通して延びているビアを更に含む請求項9記載の回路
前駆体。

【請求項12】 該炭化珪素基板の少なくともいくつかの部分が、半絶縁性
である請求項9記載の回路前駆体。

【請求項13】 該導電性コンタクトが、インジウム・錫・酸化物を含む請
求項9記載の回路前駆体。

【請求項14】 該炭化珪素基板を完全に貫通して延びている2またはそれ
以上のビアを含み、且つ該基板の該第一表面上において、各ビアが、該基板中
にあるデバイスに対して電氣的コンタクトを形成する導電性コンタクトでカバーさ
れている請求項9記載の回路前駆体。

【請求項15】 該ビアを金属化して、該デバイスに対して且つ該デバイス
から、及び該基板を完全に貫通して導電路を形成する請求項9記載の回路前駆体
。

【請求項16】 それぞれ反対側にある第一表面と第二表面とを有する半絶
縁性炭化珪素基板；

該第一表面上において複数の導電性コンタクトを含む、該基板の該第一表
面上／該第一表面中に形成されたマイクロ波回路；

該基板を完全に貫通して延びていて、且つそのそれぞれが該導電性コンタクト
の1つにおいて終端している複数のビア；及び

該炭化珪素基板の該第一表面と該第二表面との間に完全な電路を形成するた
めの各該ビア中にある導体
を含むモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）。

【請求項17】 該基板上に少なくとも1つの炭化珪素エピ層；

該少なくとも1つのエピ層において形成される該マイクロ波回路の少なくとも部分；

該エピ層上に形成される該導電性コンタクト；及び

該エピ層を貫通し、且つ該基板を貫通して、該コンタクトまで延びている該ビア

を更に含む請求項16記載のMMIC。

【請求項18】 該基板の反対側上に第一表面と第二表面を有する炭化珪素基板上にデバイスを作製する方法であって、該方法が：

炭化珪素基板の第一表面上に所定の位置に誘電性エッチング停止材料を配置する工程；

該エッチング停止材料のための所定の配置から反対に存在するビアのための所定の位置を画成するために該炭化珪素基板の第二表面をマスキングする工程；

該エッチングしたビアが完全に該基板を貫通して該誘電性エッチング停止材料に達するまで、マスキングされた第二表面から該基板中のビアをエッチングする工程；

該基板の第一表面上の誘電性エッチング停止材料を該基板の第一表面上のデバイス中に組み込む工程

を含む方法。

【請求項19】 該基板をマスキング及びエッチングする工程の前に、該デバイス中に該導電性エッチング停止材料を組み込む請求項18記載の作製方法。

【請求項20】 該ビアを金属化して、該デバイスに対して導電性接続を形成する工程を含む請求項18記載の作製方法。

【請求項21】 該基板をマスキングする工程が：

該基板の該第二表面を研削する工程；

該研削された表面を研磨する工程；

該研磨された表面上に、インジウム・錫・酸化物及び酸化マグネシウムから成る群より選択される透明な層を配置する工程；及び

インジウム・錫・酸化物の該透明層上にフォトレジストを配置する工程

を含む請求項18記載の作製方法。

【請求項22】 該フォトリジスト上でマスクを位置合わせし、該フォトリジストを現像して、該基板の該反対表面上にある該導電性エッチング停止材料と位置合わせされたポイントで開放する工程を更に含む請求項21記載の方法。

【請求項23】 該ビアをエッチングする工程が：

反応性イオンエッチングによって該透明層錫酸化物をエッチングする工程；及び

その後で、誘導結合プラズマによって該炭化珪素基板をエッチングする工程を含む請求項21記載の作製方法。

【請求項24】 エッチング液として三フッ化ホウ素を用いて該反応性イオンエッチング工程を行い、またエッチング液として六フッ化硫黄を用いて該ICPエッチング工程を行う請求項23記載の作製方法。

【請求項25】 該基板の該第一表面上にある半導体デバイスのための少なくとも1つの金属コンタクトを用いて、該炭化珪素基板の第一表面上において該半導体デバイスを作製する工程；

該基板の反対側にある第二表面を、該表面が実質的に透明になるまで研削し研磨する工程；

該炭化珪素基板の該研磨された第二表面をマスキングして、該第一表面上にあるデバイス金属コンタクトとは反対側に存在するビアのために所定の位置を画成する工程；

該エッチングが該第一表面上にある該金属コンタクトに達するまで、所望のマスキングされた場所を貫通して所望のビアをエッチングする工程；及び

該ビアを金属化して、該基板の該第二表面から、該基板の該第一表面上にある該金属コンタクトと該デバイスまで、電気的コンタクトを提供する工程を含む、望ましくないインダクタンスを引き起こし得るワイヤーボンディングを排除しつつ、炭化珪素基板上において集積回路を作製する方法。

【請求項26】 該第一表面上において該金属コンタクトを作製する工程が、該第一表面上にインジウム・錫・酸化物コンタクトを堆積させる工程を含む請求項25記載の作製方法。

【請求項27】 該インジウム・錫・酸化物コンタクトを、金コーティングでカバーする工程を更に含む請求項26記載の作製方法。

【請求項28】 該基板の反対側にある第二表面を研削し研磨する工程の前に、

該基板の該第一表面と該第一表面上にある該デバイスとを、保護ポリマー層でカバーする工程；及び

該基板の該ポリマーコーティングされた第一表面をプラテン上に取り付ける工程

を更に含む請求項25記載の作製方法。

【請求項29】 該研磨された第二表面をマス킹する工程が：

インジウム・錫・酸化物及び酸化マグネシウムから成る群より選択される透明層で該研磨表面をコーティングすること；

該透明層をフォトレジストでコーティングする工程；及び

該フォトレジストを、マス킹し、露光し、且つ現像して、該ビアのための所定の位置で、該フォトレジストにおいて開口部を画成する工程を含む請求項28記載の作製方法。

【請求項30】 該フォトレジストをマス킹する工程が、該マスクを位置合わせして、該金属コンタクトと反対側にビアを形成させる工程を含む請求項29記載の作製方法。

【請求項31】 該ビアをエッチングする工程が：

反応性イオンエッチングで該透明マスク層をエッチングする工程；及び

その後、誘導結合プラズマによって該炭化珪素基板をエッチングする工程を含む請求項29記載の作製方法。

【請求項32】 該反応性イオンエッチング工程を、エッチング液として三フッ化ホウ素を用いて行い、また該誘導結合プラズマエッチング工程を、エッチング液として六フッ化硫黄を用いて行う請求項31記載の作製方法。

【請求項33】 該ビアを金属化する工程が：

該ビアをチタン、白金及び金でスパッタコーティングする工程；及び

その後、該スパッタされた層を金で電気メッキする工程

を含む請求項25記載の作製方法。

【請求項34】 炭化珪素ターゲット基板を、インジウム・錫・酸化物（ITO）及び酸化マグネシウムから成る群より選択されるマスキング層でマスキングする工程；

フッ素含有ガスから実質的に完全に形成される誘導結合プラズマ中で該マスキングされた炭化珪素基板をエッチングする工程；及び

チャック電力を該基板に印加して、該炭化珪素エッチング速度を最大にし、また該炭化珪素の該エッチング速度と、該誘導結合プラズマ中における該マスクの該エッチング速度との間の差を最大にする工程を含む、炭化珪素中のビアをエッチングする方法。

【請求項35】 該ウェーハを、六フッ化硫黄ガスから形成されたプラズマに暴露する工程を含む請求項34記載の方法。

【請求項36】 六フッ化硫黄ガスから形成されたプラズマ中で該基板をエッチングする工程；

ITOで該ターゲット基板をマスキングする工程；及び

該炭化珪素基板において、1分あたり約0.5ミクロンのエッチング速度を実現するが、該ITOマスクが有意に侵食し始める量に満たない量で、RF電力を該ターゲット基板に印加する工程を含む請求項34記載の方法。

【請求項37】 該RF電力を、一平方センチメートルあたり約1から2ワットの量で印加する請求項34記載の方法。

【請求項38】 該プラズマを発生させる該工程が、該ICPアプリケーションの誘導コイルに対して約800から1200Wの電力を流す工程を更に含む請求項37記載のエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、半導体材料において形成される集積回路に関するものであり、詳しくは、半導体基板にビア開口部を形成する方法及び該方法から得られる構造に関する。更に詳しくは、本発明は、炭化珪素（SiC）においてモノリシックマイクロ波集積回路（MMICs）を形成するための前記ビアの使用に関する。

【0002】

発明の背景

本発明は、集積回路（ICs）におけるビア開口部（「ビア」）の製造に関するものであり、詳しくは、炭化珪素において前記ビアを形成して、モノリシックマイクロ波集積回路の製造及び使用において炭化珪素の電氣的、熱的及び機械的特性を利用する方法に関する。

【0003】

MMICs

最も基本的な意味では、モノリシックマイクロ波集積回路は、集積回路であり；すなわち、複数のデバイスから形成される回路であって；回路成分のすべては、単一の半導体基板の頂部上で製造され、且つマイクロ波の周波数で動作するように設計される。集積回路では一般的なことであるが、デバイス及び回路の成分を単一基板上に配置することの利点は、空間節約である。回路サイズが小さければ小さいほど、回路を組み込む電子回路及び最終使用デバイスに多くの利点を提供する。一般的に、最終使用デバイスは、所定の機能セットを提供すると共に最終使用デバイスを小さくすることができ、又はより多くの回路及び機能を粒子サイズの回路に加えることができ、又はそのような二つの利点を望み通りに組み合わせることができる。電子的な観点から見ると、集積回路は、例えば個々のデバイスを互いにワイヤーボンドするときに関与する寄生容量損失（parasitic capacitance loss）のような問題を低減又は排除するのに役立つ。これらの利点は、個々の成分が一緒に「配線される」回路と比較して、改良された帯域幅で集積回路を動作させることができる。

【0004】

無線通信システムは、集積回路及び関連する商業的技術において最近急速に成長している領域の一つである。そのようなシステムとしては、セルラー無線通信システムが挙げられるが、これらに限定されない。一つの試算では、そのような電話の無線加入者の数は、全世界で増え続け、近い将来に4億5千万人を超えると予想されている。前記技術の成長には、デバイスがより小さくなり、更に高出力で且つより製造し易くなることが必要である。これらの望ましい利点は、基地局、中継局及び交換局 (switching station)、ならびにエンドユーザーデバイス、例えば携帯電話それら自体に生かされる。

【0005】

当業者には認識されるように、多くの無線デバイス、特に携帯電話システムは、電磁スペクトルのマイクロ波周波数において動作する。「マイクロ波」という用語は、いくぶん任意であり、また様々な分類又は周波数の間の境界も任意であるが、マイクロ波周波数に関する例示的な選択としては、約1から約100ギガヘルツ (GHz) の周波数に相当する約3,000から約300,000マイクロン (μ) の波長が挙げられる。

【0006】

更に当業者には公知のように、これらの特有な周波数は、ある種の半導体材料によって最も簡便に生成され又はサポートされる。例えば、個々の (すなわち、独立した) 珪素 (Si) ベースのデバイスは、マイクロ波周波数において動作できるが、珪素ベースの集積回路では、電子移動度がより低いことが問題であり、一般的に、約3~4 GHz 超の周波数に関しては不利である。また、珪素の固有導電性により、高周波数で伝達できる利得が制限される。

【0007】

而して、マイクロ波周波数において、商業ベースで正常に動作するデバイスは、好ましくは、他の材料から形成され、その材料の中では、ガリウム砒素 (GaAs) が現在選択されている。ガリウム砒素は、マイクロ波回路及びモノリシックマイクロ波集積回路に関して、珪素に比べて高い電子移動導度及びより大きな絶縁性を含むある種の利点を提供する。

【0008】

マイクロ波デバイス及びマイクロ波通信方式のための周波数に関する要件を考慮すると、炭化珪素は、そのようなデバイス及び回路のための好ましい候補材料である。炭化珪素は、電子デバイスのすべてのタイプに関して多くの利点を提供し、またマイクロ波周波数デバイス及びモノリシックマイクロ波集積回路に関して特有な利点を提供する。炭化珪素は、特に他の半導体材料と比較して、極めて広いバンドギャップ（例えば、Siの1.12 eV及びGaAsの1.42 eVと比較して、300 KにおいてアルファSiCでは2.996 eV）を有し、高い電子移動度を有し、物理的に非常に硬質であり、またずば抜けた耐熱性を有する。例えば、珪素は、1415℃の融点を有し（GaAsは1238℃である）、一方、炭化珪素は、典型的には、温度が少なくとも約2000℃に達するまで、有意な量で解離し始めない。別の要因として、炭化珪素は、半導体材料として又は半絶縁性として作ることができる。絶縁性又は半絶縁性の基板は、しばしばMMICs用に要求されるので、上記の事実は、炭化珪素の特に有利な面である。

【0009】

MMICsは、裏側金属接地面 (backside metallic ground planes) を用いて製造され、それに対してMMICにおける様々なポイントから、例えば伝送路終端においてコンタクトが作られなければならない。伝統的には、それは、ワイヤーボンドによって達成されてきた。ワイヤーボンディング技術は、他の周波数で動作する他のデバイスに関して用いることができるが、炭化珪素におけるマイクロ波周波数では、そのような技術は不利である。特に、ワイヤーは、炭化珪素デバイスが動作できるマイクロ波周波数において望ましくないインダクタンスを生じさせる傾向がある。10 GHzを超える周波数に関しては、ワイヤーボンディングは、単純に完全に避けなければならない。而して、そのようなワイヤーボンディングは、炭化珪素ベースのMMICsでは、望ましくは、時には必ず、避けられる。

【0010】

ワイヤーボンドに代えて導電性ビア（すなわち、金属で充填され又はコーティングされたビア開口部）を用いることは、上記問題を解決する可能性がある。し

かしながら、現在までのところ、炭化珪素におけるビア開口は、上記したように、殆どの他の目的にとっては一般的に有利である炭化珪素の極めて強靱な物理特性の故にかなり難しい。

【0011】

エッチング及びエッチング液

エッチングは、化学的及び物理的反応又はその両方によって材料（例えば、基板上にある薄膜又は基板それ自体）を除去する方法である。エッチングの二つの主なカテゴリー：すなわち、ウェットエッチング及びドライエッチングがある。ウェットエッチングでは、化学溶液を用いてエッチングし、ドライエッチングではプラズマを用いる。炭化珪素は、SiCの安定性及び高い結合強度の故に、迅速にウェットエッチングされない。而して、炭化珪素をエッチングするのにはドライエッチングが最もしばしば用いられる。

【0012】

ドライエッチングでは、エネルギー（典型的には、無線周波数（RF）又はマイクロ波周波数における電磁放射）を低圧ガス中に移動させることによってプラズマ放電を作る。そのようなガスとしては、そのプラズマ状態が基板材料をエッチングするガスが選択される。典型的には、様々なフッ素含有化合物（例えば、 CF_4 、 SF_6 、 C_4F_8 ）を用いて炭化珪素をエッチングし、また様々なプラズマ反応器システムにおいて、ガス添加剤、例えば酸素（ O_2 ）、水素（ H_2 ）、又はアルゴン（Ar）を用いることができる。プラズマは、ガス分子及びそれらの解離フラグメント：すなわち、電子、イオン及び中性ラジカル（neutral radical）を含む。中性ラジカルは、除去される材料と化学的に反応することによって、エッチングにおいて役割を演じ、負に帯電した基板の方へと移動する正イオンは、物理的衝撃によってエッチングを助ける。

【0013】

反応性イオンエッチング（RIE）システムは、典型的には、1つのRF発生器を用いる。RF電力は、1つの電極（「チャック」、その上にウェーハが配置される）中に供給され、この電極と接地電極（grounded electrode）との間に放電が生じる。そのようなシステムでは、RFエネルギーカップリングの容量性（

capacitive nature) によって、プラズマの密度が制限され、その結果、炭化珪素のエッチング速度がより遅くなる。R I E システムでは、プラズマ密度及びイオンエネルギーが結合されるので、独立して制御できない。R F 入力電力が増加すると、プラズマ密度及びイオンエネルギーの両方が増加する。結果として、R I E システムは、炭化珪素においてビアをエッチングするのに有利な高密度低エネルギータイプのプラズマを発生させることができない。

【0014】

誘導結合プラズマ (I C P) システムでは、2つのR F 発生器を用いる。一つは、非導電性放電チャンバの周囲に巻き付けられたコイルにR F 電力を供給する。もう一つは、その上にウェーハが配置される電極 (チャック) に電力を供給する。そのようなシステムでは、R F エネルギーカップリングの誘導性は、エネルギーカップリングの効率を増大させ、その結果として、プラズマの密度が増加する。更に、プラズマ密度は、コイルR F 電力によって独立に制御でき、一方イオンエネルギーは、チャックR F 電力によって独立に制御することができる。而して、I C P システムは、炭化珪素においてビアをエッチングするのに有利な高密度低エネルギープラズマを生成させることができる。

【0015】

エッチングは、エッチングする必要がないウェーハ領域をマスクすることによって、ウェーハの選択された領域に関して行われる。基板 (エッチングされる材料) のエッチング速度対マスク材料のエッチング速度の比が、エッチングの「選択比」と呼ばれている。深いエッチングと忠実なパターン転写のためには、高い選択比が望まれる。

【0016】

エッチングは、一般的に、垂直方向及び水平方向の両方で進行する。垂直方向は、マスクされていない領域においてエッチング深さとして測定でき、水平方向は、マスク領域下のアンダーカットとして測定できる。異方性の程度は、水平エッチング速度対垂直エッチング速度の比が、どれだけ均一性から逸脱しているかによって表される。垂直方向におけるエッチング速度が、水平方向におけるエッチング速度に比べてはるかに大きい場合、そのエッチングは異方性エッチングと

言われる。逆の場合は、等方性エッチングと言われる。炭化珪素の高い結合強度の故に、水平方向においては、イオン衝撃無しではエッチングされない。結果として、炭化珪素のドライエッチングは一般的に異方性である。

【0017】

対照的に、ICPシステムにおける珪素 (Si) のエッチングは一般的に等方性である。それは、珪素の低結合強度から生じ、水平方向において容易にエッチングされるからである。側壁保護のための堆積工程とエッチング工程とを交互に行うボッシュ法を用いることによって、珪素エッチングを異方性に行うことができる。

【0018】

SiCエッチングのためにICP (誘導結合プラズマ) 源及びECR (電子サイクロトロン共鳴) 源を用いると、RIE (反応性イオンエッチング) と比較して、より高いエッチング速度が得られる。ICPシステム及びECRシステムの両方において、RIEシステムと比較して、より低い作業圧力 (例えば、1 から 20 ミリトル)、より高いプラズマ密度 (10^{11} から 10^{12} cm^{-3}) 及びより低いエネルギーを用いる。これらのパラメーターの組合わせにより、SiCに関して高いエッチング速度及びエッチングマスクに関して最小侵食が得られる。RIEシステムは、より高い圧力 (10 から 300 ミリトル) より低いプラズマ密度 (10^{10} cm^{-3}) 及びより高いイオンエネルギーを用いて、SiC結合を壊し、エッチングするが; 高イオンエネルギー及び低プラズマ密度の有害効果としては、マスク侵食及びより低いエッチング速度が挙げられる。

【0019】

McDaniel ら による Comparison of Dry Etch Chemistries for SiC, J. Vac. Sci. Technol. A, 15 (3), 885 (1997) による科学文献で報告されているように、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマを用いてSiCをエッチングするのに成功した。科学研究により、 CF_4/O_2 又は SF_6/O_2 のより高いイオン密度を有するECR放電により、RIEに比べてはるかに速いエッチング速度が得られることを測定した。RIEとは対照的に、ECRエッチング中に、 NF_3 又は SF_6 に酸素を加えることの利益は観察されなかった。

【0020】

SiCの高密度プラズマエッチングのためのプラズマ化学における従来の試みとしては、塩素 (Cl_2)、臭素 (Br_2)、又は沃素 (I_2) ベースのガスの使用が挙げられる。しかしながら、フッ素ベースのガスを用いると、エッチング速度がはるかに速くなった。例えば、Hong ら による Plasma Chemistries for High Density Plasma Etching of SiC, J. Electronic Materials, Vol. 28, No. 3, 196 (1999) は、高イオン密度プラズマツール (すなわち、ECR及びICP) において、六フッ化硫黄 (SF_6)、塩素 (Cl_2)、塩化沃素 (ICl)、及び臭化沃素 (IBr) を含む様々なプラズマ化学を用いる 6H-SiCのドライエッチングについて考察している。これらの努力により、 SF_6 プラズマを用いて、約 $0.45 \mu\text{m}/\text{分}$ ($4500 \text{ \AA}/\text{分}$) のエッチング速度が達成された。別法として、ECR源及びICP源における Cl_2 、 ICl 及び IBr ベースの化学では、 $0.08 \mu\text{m}/\text{分}$ ($800 \text{ \AA}/\text{分}$) のより低い速度であった。フッ素ベースのプラズマ化学により、高密度プラズマ条件下で、SiCに関して最も迅速で且つ最も望ましいエッチング速度が得られることを見出した。不都合なことに、フッ素ベースの化学は、フォトレジストマスクを有するSiCに関して選択比が悪かった。

【0021】

Wang ら は、Inductively Coupled Plasma Etching of Bulk 6H-SiC and Thin-film SiCN in NF_3 Chemistries, J. Vac. Sci. Technol. A, 16 (4) (1998) において、誘導結合プラズマ NF_3/O_2 及び NF_3/Ar 放電における 6H-p+ 及び n+ SiC 及び薄膜 SiC_{0.5}N_{0.5} のエッチング特性、及び、その場合、 $0.35 \mu\text{m}/\text{分}$ ($3500 \text{ \AA}/\text{分}$) のエッチング速度が達成されたことを報告した。

【0022】

更なる科学文献、すなわち Cao ら による Etching of SiC Using Inductively Coupled Plasma, J. Electrochem. Soc., Vol. 145, No. 10 (1998) では、それぞれ1分間あたり20標準立法センチメートル (sccm) 及び9 sccmの流速で CF_4 ガス及び O_2 ガスを用いる ECR プラズマにおけるプラズマ

エッチングを考察していて、約 $0.05\mu\text{m}/\text{分}$ ($500\text{\AA}/\text{分}$) のSiCにおけるエッチング速度を得た。そのような方法では、滑らかな底面を有する深さ $14\mu\text{m}$ のトレンチが得られた。更に、低いチャンバ圧（すなわち、7ミリトル）により、深いエッチトレンチング (deep etch trenching) 中におけるマイクロマスク (micromasking) の効果が最小化された。Cao ら による研究中に、基板バイアスは 10V に維持され、コイル電力は、 700W に維持された。

【0023】

上で考察した技術を考慮すると、SiCビアエッチングの第一の目的は、エッチマスクの侵食を最少に保ちながら、合理的な速度でSiCをエッチングする方法を見出すことである。この目的に影響を及ぼす因子は、マスク材料、プラズマ化学 (plasma chemistry) 、プラズマ密度、及びイオンエネルギーである。SiCにおいてビアをエッチングする第二の目的は、滑らかなエッチング面を得ることである。

【0024】

而して、エッチングマスクの侵食を最少にしながら、合理的に迅速な速度でSiCをエッチングできる方法に関するニーズが存在する。

また、ビアトレンチの底部に滑面を生じさせる合理的な速度で、且つ十分な深さでSiC中のビアをエッチングする方法に関するニーズも存在する。

【0025】

半導体炭化珪素基板中に適当なビアを上手く用いて、炭化珪素ベースのMMICSと、そのような炭化珪素ベースのMMICSを用いて形成することができる最終使用デバイスとの製造を容易にする技術に関する更なるニーズが存在する。

【0026】

発明の目的及び概要

而して、本発明の目的は、エッチングされる炭化珪素とマスキング材料との間を有利に識別する仕方で、炭化珪素基板において及び炭化珪素基板を完全に貫通してビアをエッチングする方法を提供することにある。

【0027】

本発明は、基板の反対側上に第一表面及び第二表面を有する炭化珪素基板上に

ビアをエッチングする方法によって上記目的を達成する。そのような方法は、炭化珪素基板の第一表面上の所定の位置に導電性エッチング停止材料を配置する工程、炭化珪素基板の第二表面をマスキングして、導電性エッチング停止材料のための所定の位置とは反対側にあるビアのための所定の位置を画成する工程、エッチングされるビアが、基板を完全に貫通して導電性エッチング停止材料に達するまで、マスキングされた第二表面から、基板中のビアをエッチングする工程、及び基板の第二表面に対して、基板の第一表面上にある導電性エッチング停止材料を接続する工程を含む。

【0028】

別の面では、本発明は、高周波数において望ましくないインダクタンスを引き起こし得るワイヤーボンディングの必要性を低下させつつ、炭化珪素基板上において集積回路を作製する方法を含む。

【0029】

更に別の面では、本発明は、それぞれ第一表面及び第二表面、炭化珪素基板を完全に貫通して延びているビア、及び炭化珪素基板の前面と裏面とを接続するビアによる導電性コンタクトを有する炭化珪素基板を含む回路前駆体 (circuit precursor) を含む。

【0030】

更にもう一つ別の面では、本発明は、それぞれ反対側にある第一表面及び第二表面を有する半絶縁性炭化珪素基板、基板の第一表面上に形成されたマイクロ波回路、第一表面上に複数の導電性コンタクトを含む回路、ビアのそれぞれが導電性コンタクトの一つにおいて終端していて且つ基板を完全に貫通して延びている複数のビア、及び炭化珪素基板の第一表面と第二表面との間に完全な電路 (electrical pathway) を形成するための各ビアにおける導体を含むモノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) である。

【0031】

本発明のこれらの及び他の目的及び利点、及びそれらを達成する方法は、以下の詳細な説明と添付の図面によって更に完全に理解される。

好ましい態様の詳細な説明

第一の面では、本発明は、ワイヤーボンディングを用いて高周波数のデバイスと回路のための電氣的コンタクトを形成する場合に、そのようなMMICSの特徴であるインダクタンスの問題を低減する方法によって、炭化珪素基板中に、集積回路、特にモノリシックマイクロ波集積回路を形成できる特有な材料で、すなわち炭化珪素でビアを形成する方法である。

【0032】

図1から図11には、本発明方法の態様の基礎的工程を、連続的に図示してある。これらの図は、やや一般的に記載されており、特有な実験的詳細は以下に記載してある。MMICs及びそれらの機能の背景のほとんどのことは、当業において十分に理解されており、これらのことに関しては、本発明を強調する必要があるとき以外は、特に詳細に説明しない。同様に、ある種のプロセス工程は、一般的に十分に理解されているので、適当な場合には、詳しく説明せずに単純に名称を挙げるだけである。しかしながら、本発明の新規で自明でない特徴は、本発明を首尾良く実行させることができ且つ過度の実験を行っていない明細書と呼ばれるものを提供する程度には十分に詳細に説明される。

【0033】

図1は、括弧21によって示されているデバイス部分を含む炭化珪素基板20に関する横断面図である。上記したように、本発明の目的は、SiC基板20中にビアを形成し、そのビアを用いて、基板20を通してデバイス21までの回路を提供することにある。説明のために、図1から図11には、単一デバイスの1つのコンタクトに対する単一ビアが図示してある。にもかかわらず、本発明の方法及び得られる構造は、回路を形成する多くのデバイスに多くのビアを形成するために、更に典型的に適用される。しかしながら、本発明方法の工程のあるものは、図解を単純化することによって最も明確に示される。

【0034】

而して、図1は、適当なソース部分22、ゲート部分23及びドレイン部分24を有する金属半導体電界効果トランジスタ(MESFET)のようなデバイスを広範に図示することを意図している。好ましい態様では、特にマイクロ波周波数デバイスのために、ソース22、ゲート23、及びドレイン24をすべてワイ

ドバンドギャップ材料で、例えば炭化珪素、又はある種のⅢ-Ⅴ窒化物、例えば窒化ガリウム（GaN）、及びそれに関連する二元性、三元性、及び第三のⅢ-Ⅴ化合物、例えばAlGa_N及びInAlGa_Nで形成する。

【0035】

それぞれ第一表面26及び第二表面27を有する炭化珪素基板20上にデバイスを形成する。

図2には、図1と同じデバイスが図示してあるが、第一表面26上の適所に導電性コンタクト25を有している。MESFETのようなデバイスに精通している当業者は、例示してあるデバイスが、ゲート23及びドレイン24に対するコンタクトを含むこともできることを直ちに認めるであろう。しかしながら、図を見れば分かるが、重要な情報の提示を単純化するために、そのようなコンタクトは図1～図11に示されていない。而して、図2は、例示デバイスのソース領域22に対する導電性コンタクト25を単純に示している。デバイスが、炭化珪素の単一部分で完全に形成されている場合、全体の部分は基板20と見なすことができる。

【0036】

別法として、どんな方法でも本発明から逸脱せずに、基板は、デバイス部分21が形成される1又はそれ以上のエピタキシャル層（エピ層）を含むこともできる。そのような態様では、第一表面26は、エピタキシャル層の（図1～4の配向における）頂部表面と呼称されると考えられる。半導体材料の成長、特に炭化珪素の成長に精通している当業者は、同じ材料で作られているとしても、基板及びエピタキシャル層（単数又は複数）の使用は、基板に比べて、エピタキシャル層（エピ層）において、改良された結晶格子を得る方法が（ほとんどの状況下において）提供されることを認めるだろう。エピ層の使用、それらの製造方法、及び得られる構造は、当業において充分に理解されているので、また本発明に関する差は、最小又は存在していないので、「基板」という用語は、これらの構造を呼称するために本明細書で用いられ、その構造とはエピタキシャル層を含むこともできることが理解される。

【0037】

而して、図2は、好ましい態様ではインジウム・錫・酸化物（「ITO」）コンタクト25である導電性エッチング停止材料が、炭化珪素基板20の第一表面26上の所定の位置に配置されていることを示している。

【0038】

図3は、デバイスに高品質なコンタクトを提供するために、インジウム・錫・酸化物コンタクト25が、好ましい態様では典型的には金である貴金属30で典型的に更にコーティングされている状態を図示している。

【0039】

この点で、本発明の特有な利点の一つを強調することができる：すなわち、エッチング停止として導電性ITOを用いると、エッチング工程それぞれの前及び後に、別のエッチング停止材料を加えることも除去する必要も無くなる。その代わりに、ITOを、ビアをエッチングする前に、デバイス又は回路の中に単純に組み込む。ITOによるエッチング停止は、そのような二重の役割を担うので、より少ない材料を、プロセス環境中に組み込む必要があり、より少ないプロセス工程が要求される。半導体製造技術に精通している当業者には公知のように、より少ない工程及びより少ない材料を用いて、所望の構造を製造するプロセスは、一般的に有利である。更に、加えて、次に除去しなければならないと考えられる異質なエッチング停止材料を排除することは特に有利である。

【0040】

図4には、好ましい態様において、ソース22、ゲート23、ドレイン24、及びソースコンタクト25によって単純化されて図示されているデバイスが、好ましい態様ではポリイミドである保護ポリマー層31でカバーされている状態が図示してある。ポリイミド層31は、下にあるデバイスを保護し、且つ以下の製造工程における適当な処理のために、前駆体にレベリング効果を提供する。

【0041】

図5は、次の工程における、基板20のポリマーコーティングされた第一表面26をプラテン32上に取り付けてある状態を図示している。プラテンは、好ましくは、この場合には、その電子的利点ではなく、その機械的及び熱的性質の故に、炭化珪素から形成される。典型的には、取り付け接着剤33を用いて、ポリ

イミドコーティング表面31をプラテン32へと固定する。取り付け接着剤は、その後の加工工程中に、それらの工程に耐え、且つそれらの工程に関するいかなる干渉も防止しながら、ポリイミドでコーティングされたデバイス及び基板を炭化珪素プラテン32に対して固定状態に保つ任意の適当な材料であることができる。前記接着剤は、一般的に当業において公知であるので、本明細書では詳しく説明しない。

【0042】

図6は、好ましい方法の次の工程では、実質的に透明になるまで半導体基板20を研削し研磨した。研削及び研磨は、少なくとも三つの理由で行った。第一の理由は、炭化珪素をエッチングすることは、いかなる状況下でも難しいので、炭化珪素基板20の厚さを最小にして、エッチングプロセス全体を容易にするのに役立つ。第二の理由は、実質的に透明になるまで基板20を研削し研磨することによって、基板20の第二表面27から金属コンタクト25まで適当な光路を画成することができ、その結果、残りの図面に関して本明細書で説明しているように、所望の方法で、ビアのための適当な位置をコンタクト25に位置合わせしエッチングすることができる。第三の理由は、得られたより薄い基板（すなわち、より少ない質量）により、得られるデバイス又はMMICに対して熱に関する利点を提供する。

【0043】

本発明によれば、ビアをエッチングする場合、集積回路を形成している複数の層が接続され、それによって集積回路がその所望の機能を発揮できるように、前側エッチング停止パッドは導電性であるべきである。更に、サンプルの裏面上にあるエッチングマスクは、前側エッチング停止を有するサンプルを光学的に位置合わせ（視覚による位置合わせを含む）できるように、好ましくは透明である。

【0044】

図7は、本発明の好ましい方法の次の工程において、基板20の第二表面21をインジウム・錫・酸化物（ITO）の層34でコーティングしている状態を図示している。ITOは、少なくとも二つの理由から選択され組み込まれる。第一には、ITO層34は透明であるように形成することができ、その結果、本発明

の方法は、半導体の設計及び製造で用いられる典型的なマイクロリソグラフィ及びマスキング技術を取り入れることができる。第二には、以下に記載した実験の項で考察しているように、エッチングプロセス中に所望され且つ必要とされる方法で、所望のエッチング液が、SiCとITOとの間を識別するので、ITOは良好なマスキング材料を提供する。

【0045】

別の態様では、基板の第二表面21上にある層34は、選択性及び透明性というITOと同じ利点を提供する酸化マグネシウム(MgO)を含むことができる。MgOに関して精通している当業者には公知のように、MgOは、非常に高い融点(2800℃)を有する極めて高密度の形態で製造することができる。

【0046】

次に、適当なフォトリジスト層でITO層をコーティングする。フォトリジスト化合物は、当業において一般的に公知であるので、適当なフォトリジスト材料はITO層34上における堆積に適合しているべきであり、また露光され現像されるときに適当なレベルの精細を提供すべきであり、またフォトリジストが適所に配置されている一方で、行われるプロセス工程を妨害するべきではないことに留意すること以外は、本明細書では詳しく考察しない。

【0047】

図8は、フォトリジスト35がマスクされ、露光され、及び現像された後の前駆体構造、及びプロセス及び材料の残りと整合性があるという条件の下で、従来の方法で行うことができる工程を図示している。フォトリジストを開放させると、フォトリジスト層35において、画成された開口部36が形成され、その開口部により、ITO層34は、適当に開放され、次に、図9に示してあるように、適当なビア37を形成することができる。本発明の好ましい態様では、三塩化硼素(BCl_3)化学を用いて反応性イオンエッチングによってITO層をエッチングする。

【0048】

図9に図示してあるように、ビアはエッチング工程で形成され、その詳細は以下で簡単に記載されているが、好ましくはエッチング工程は誘導結合プラズマ中

で行い、最も好ましくは六フッ化硫黄（SF₆）から形成される誘導結合プラズマ中で行う。

【0049】

特に有利な工程では、本発明の方法は、エッチング停止として元の導電性コンタクト25を組み入れる。この方法では、本発明の方法によって、分離エッチング停止を加え、次に分離エッチング停止を除去するための追加の工程及び（しばしば同様に重要なことには）材料を用いることが回避される。また、図面では、ただ1つのビアが図示されているが、それは、図解を明確にするためであって、本発明は、開口複数ビア（opening multiple vias）のために有利に用いられることを理解すべきである。

【0050】

図10は、好ましい態様において、金属の三層で：すなわち、チタン、白金、及び金（「Ti/Pt/Au」）の順序でエッチングトレンチの床及び壁に沿ってビアがコーティングされている状態を図示している。このコーティングは、図10では40として示されている。次に、コーティング40を、貴金属41で、好ましくは金で電気メッキして、基板20の第二表面27から第一表面26までの完全なコンタクト、更に好ましくは、デバイス部分21の一部であるコンタクト25までの完全なコンタクトを形成する。好ましい態様では、フォトレジストとインジウム・錫・酸化物との層34及びフォトレジスト層35は、Ti/Pt/Auコーティング40によるスパッタコーティング及び金41による電気メッキの工程前に両方とも除去される。次に、プラテン32からデバイス前駆体を除去し、保護ポリイミド層31をストリップして、図11に図示されているデバイスが得られる。

【0051】

図12は、本発明による4ミル（1000ミル＝1インチ）炭化珪素ウェーハにおいてエッチングされた直径100ミクロンのビアホールに関するSEM顕微鏡写真である。図1～図11は図面であり、図12は写真であるが、比較すると、図12に示されている頂部表面は、図面の第二表面27に相当している。当業者には理解されるように、この厚さの炭化珪素基板に対して、この直径のビアを

配置する能力により、所望の炭化珪素基板におけるブロードバンド高周波数MMICSが可能となる。

【0052】

本発明は、厚さ100から200ミクロンの炭化珪素基板を貫通して、典型的には（必ずしも限定されないが）直径約25から200ミクロンのビアをエッチングする方法である。本発明のエッチングプロセスでは、1分あたり約0.5から0.8ミクロン（ μ /分）のエッチング速度、150のエッチングマスクの選択比、及び90から99%の異方性が得られる。

【0053】

炭化珪素基板中にビアをエッチングする際の重要な問題は、高い安定性及び高い結合強度を有する材料である炭化珪素を、エッチングマスクの侵食を最少にしつつ、合理的な速度（例えば、0.5 μ /分）でエッチングするエッチングプロセスを見出すことである。

【0054】

本発明は、マスキング材料、プラズマパラメーター、及び化学を選択することによってこれらの完全に相反する要件を満たす。

本発明では、インジウム・錫・酸化物（「ITO」）は、いくつかの理由から、炭化珪素中ビアのための好ましいエッチングマスクである。第一に、ITOは、炭化珪素をエッチングするためには最も効率的であり、好ましいフッ素化学中で安定であってエッチングされない。第二に、他の硬質金属マスクと違って、ITOは、炭化珪素結合を破壊するのに十分なイオンエネルギーでスパッタされないので、炭化珪素をエッチングすることができる。第三に、ITOは、透明でもあり、ウェーハを通してエッジパッド（edge pads）に対してエッチングマスクを位置合わせできる。第四に、ITOは、導電性であり、且つエッチングが停止する材料として機能することができるので、エッチング停止のために用いることもできる。

【0055】

上記したように、炭化珪素においてビアをエッチングするための最善のエッチングマスク材料の一つは、インジウム・錫・酸化物（ITO）である。ITOエ

ツチングマスクは以下のようにしてパターンニングする。まず最初にITOで、次にフォトレジストでウェーハをブランケットコーティングする。そのフォトレジストは、マスクを介してUV光で露光され、露光領域が硬化して、マスクパターンをフォトレジスト上へと転写する。フォトレジストは、塩素化学におけるITOにおけるその後のエッチングではマスクとして機能するので、ITO上にフォトマスクのパターンが転写される。次に、フッ素化学における炭化珪素ビアのその後のエッチングでは、ITOは、マスクとして機能する。

【0056】

いくつかの理由から、本発明では、誘導結合プラズマ(ICP)を用いて、高密度SF₆プラズマを発生させて、炭化珪素においてビアをエッチングする。第一に、エッチングマスクの侵食を最少にしつつ、炭化珪素において速いエッチング速度を達成するためには、高密度で低エネルギーのプラズマが必要である。ICPの使用は、高密度プラズマを発生させることができるので、またチャック電力を調節することによりコイル電力及びイオンエネルギーを調節することによって、プラズマ密度を独立制御できるので、重要である。高いコイル電力(600～1500W、好ましくは約800W)を選択して、プラズマ密度を最大にする。

【0057】

本発明の重要なポイントは、ITO又はMgOのエッチングマスクの侵食を最少にしつつ、炭化珪素のエッチング速度を最大にするICPシステムにおけるチャック電力の使用である。チャック電力がICPシステムにおいて増加すると、炭化珪素のエッチング速度が増大するが；その速度の増大は、高いチャック電力の場合に比べて、低いチャック電力の場合の方がはるかに劇的である。チャック電力を増加させると、ITO又はMgOのエッチングマスクの侵食速度は、最小であり、初めは増加しないが；より高いチャック電力では、急速に増加する。而して、本発明は、一方ではSiCエッチング速度を最小にし、他方ではSiCエッチングマスクとITOエッチングマスクとの間のエッチング速度の差を最大にするチャック電力を選択できるという認識を取り入れている。好ましい態様では、このチャック電力レベルは、現在では、一平方センチメートルあたり約1から

2ワット (W cm^{-2}) であることが好ましいことが知られている。

【0058】

六フッ化硫黄 (SF_6) 化学を本発明で用いて、炭化珪素にビアをエッチングする。六フッ化硫黄を用いる理由は、前記目的にとって、フッ素化学の中で最も効率的であると考えられるからである。本発明は、ガス添加剤を一切用いないが、それは、炭化珪素のエッチング速度を遅くする傾向があるからであり、またスパッタリングによってマスク侵食が速くなるからである。本発明は、1から5ミリの圧力で、好ましくは約3ミリの圧力で SF_6 を用いる。同様に、ガスは、約5から100 sccm の速度で、好ましくは約10 sccm の速度で供給する。

【0059】

SF_6 を用いる更なる研究では、 SF_6 では、 NF_3 又は CF_3 (約70:1) に比べて、より高い SiC 対 ITO マスク 選択比 (mask selectivity) (約150:1) が得られることが測定された。上で考察したように、SiC をエッチングする従来法は、Ar 及び CF_4/O_2 で希釈された NF_3 又は SF_6 の使用を含んでいた。しかしながら、研究時に、Ar 又は O_2 を SF_6 又は NF_3 に加えると、フッ素の割合が低くなり且つイオン衝撃が大きくなるので、SiC におけるエッチング速度が低下し、マスク侵食が増加した。而して、追加のガスを加えずに SF_6 を用いることは、本発明の ITO マスクに関して、エッチング速度の増大及び高い選択比を達成するのに好ましい。

【0060】

ビアをエッチングする速度は、そこに施用されている基板又は薄膜の温度を上昇させることによって増大させることができる。温度の上昇は、サンプルを冷却するのに役立っている、サンプルの裏面へのヘリウム流を停止させることによって達成できる。別法としては、裏面の圧力を約1から10トルに維持する。エッチング速度に影響を及ぼす化学反応 (例えば、分子結合の破壊) は、ガス流量及びチャンバー圧を増加させることによって、増やすこともできる。

【0061】

ビアエッチングに影響を及ぼす化学反応が増加すると、側面エッチングが増加

し、その結果として、ビアの側壁の傾斜が生じる。また、化学反応の増加により、ITOマスクのエッチング速度と侵食も増大する。更に、増強された化学反応に起因して、スパイクング及び表面欠陥が生じることがある。

【0062】

発明の背景に記載した引例によって例示されているように、誘導結合プラズマを発生させるために用いられる装置及びプロセスは、一般的に、当業において公知であって十分に理解される。而して、当業者は、本明細書で説明される技術を実行することができ、過度の実験は必要無い。

実験：

好ましい態様では、本発明は、誘導結合プラズマ(ICP)中で六フッ化硫黄化学を用いて、SiCにおいてビアをドライエッチングする方法も含む。本発明の特有な態様では、ドライエッチングは、Plasma-Therm Incorporatedによって製造されたモデル790 ICPシステムにおいて行った。

【0063】

このシステムでは、ウェーハを、プロセスチャンバー中にあるHeで冷却されるチャック上に配置し、ウェーハを固定し、次にターボポンプ及びメカニカルポンプを用いてプロセスチャンバーを 10^{-5} トルまで排気する。1分間あたり5から20立方センチメートルの電子等級六フッ化硫黄をプロセスチャンバー中に注入し、ターボポンプ上にあるバタフライ弁を絞って、2から5ミリの作業圧力にする。次に、電力を印加してプラズマを発生させる。このシステムでは、2つの無線周波数(RF)電源を用いた。1つは、チャックに接続し、基板に達するイオンのエネルギーを制御するために用い、1から 2 W/cm^2 に設定する。第二のRF源は、セラミックプロセスチャンバーの周囲に巻き付けられた3ターン誘導子コイル(three turn inductor coil)に接続する。第二RF源は、主プラズマ発生電力を提供し、プラズマ密度を制御し、及び800から1200Wに設定される。

【0064】

ビアをエッチングする前に、ITOでSiC基板をコーティングし、次に標準的なフォトリソグラフィーを用いてフォトレジストでパターンニングする。次に、

フォトレジストがエッチングマスクである塩素化学中でITOをドライエッチングする。続いて、ITOがエッチングマスクであるフッ素化学中で、SiCにおいてビアをエッチングする。ビアドライエッチングプロセスは、高度に異方性であり、SiCエッチング速度は0.5から0.8ミクロン/分であり、及びエッチングマスクに対する選択比は100から150である。

【0065】

本明細書では、本発明の典型的な態様を開示してきた。特定の用語を用いてきたが、それらは、一般的で説明的な意味でのみ用いており、限定することを目的としているのではない。本発明の範囲は、請求の範囲に記載してある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図2】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図3】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図4】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図5】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図6】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図7】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図 8】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図 9】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

【図 10】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

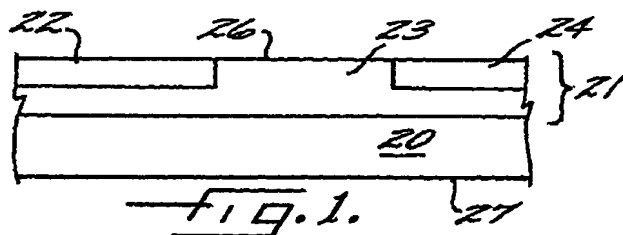
【図 11】

本発明にしたがって、デバイスに対して、炭化珪素基板を貫通させてビアを形成する方法を示している横断面図である。

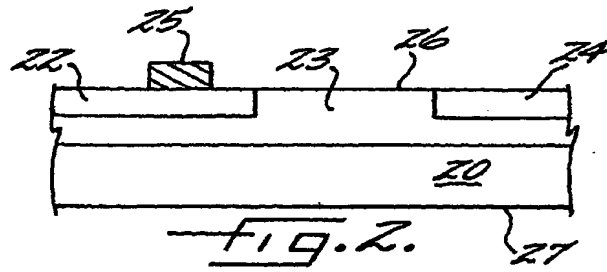
【図 12】

本発明によって炭化珪素基板中に形成されたビアの走査電子顕微鏡写真（SEM）である。

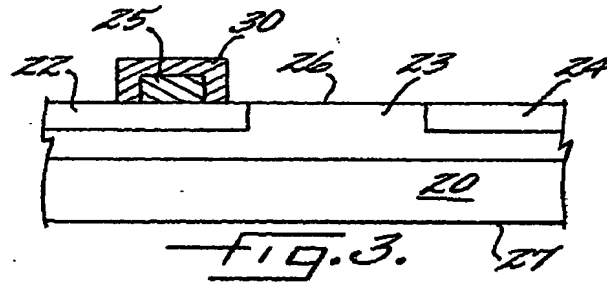
【図 1】



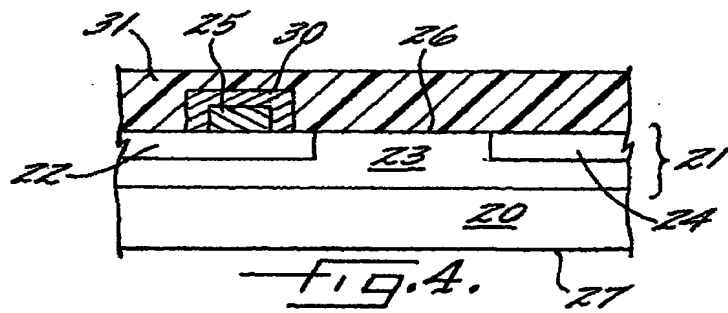
【図2】



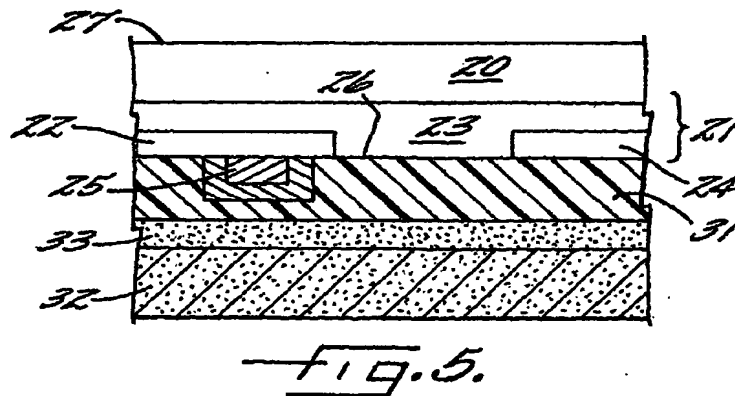
【図3】



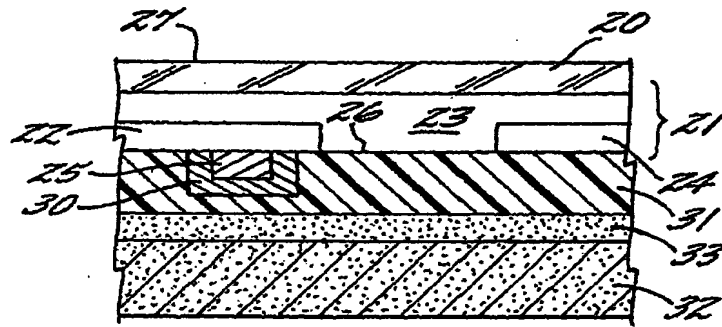
【図4】



【図5】

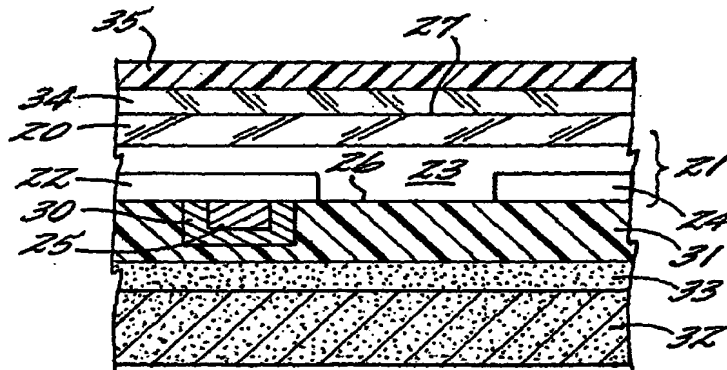


【図6】



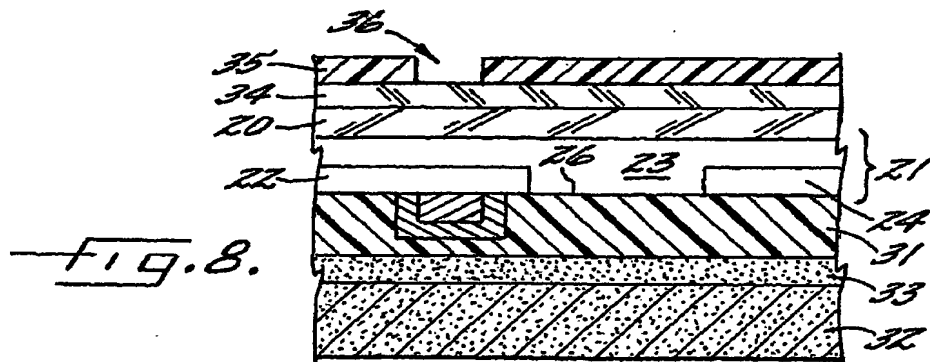
—FIG. 6.

【図7】



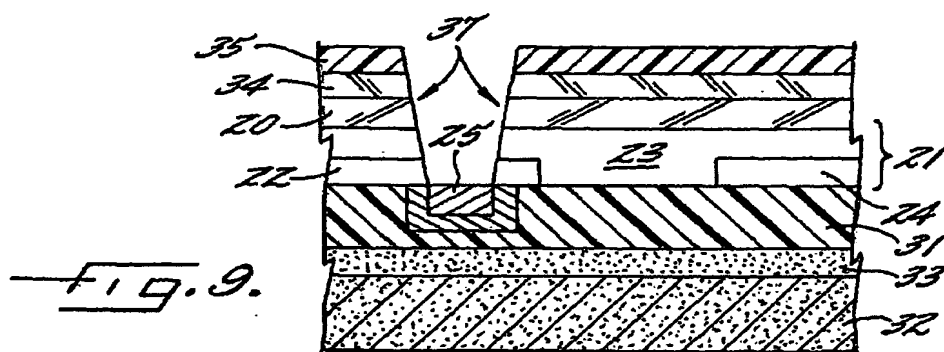
—FIG. 7.

【図8】

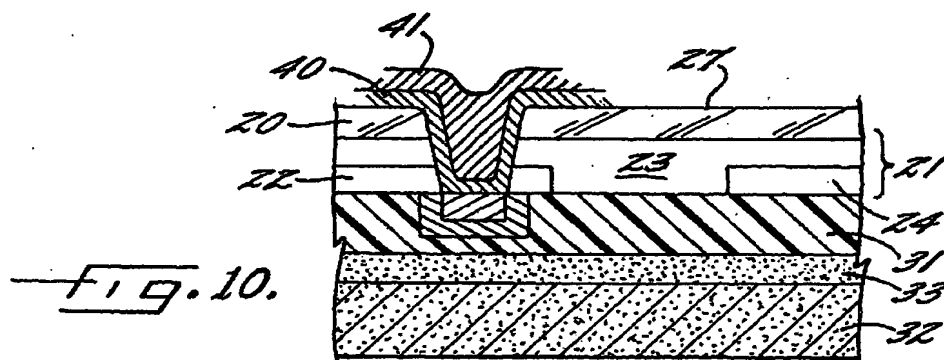


—FIG. 8.

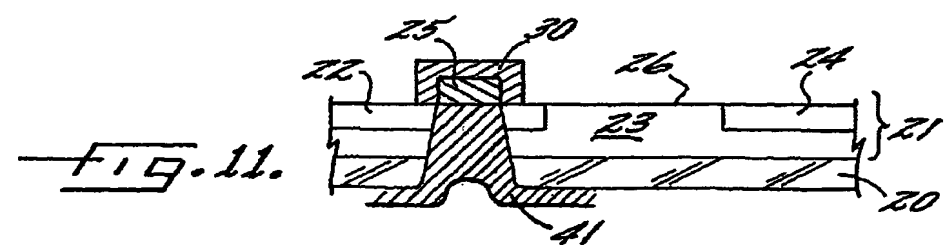
【図9】



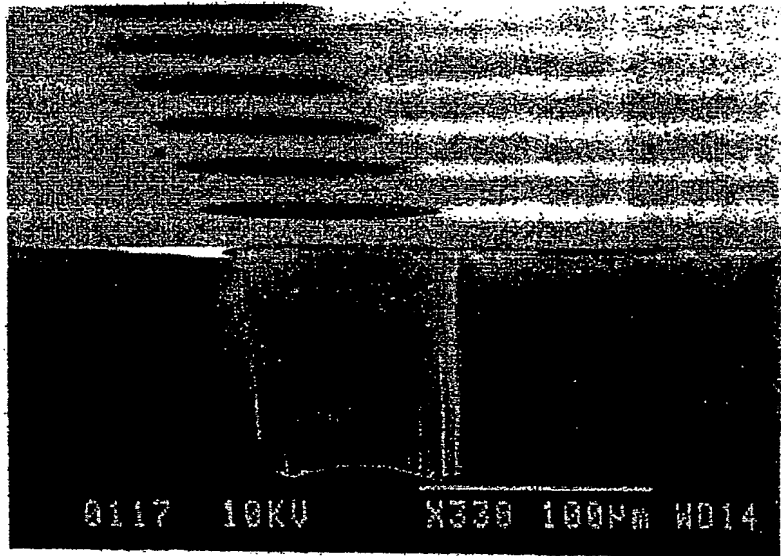
【図10】



【図11】



【図12】

FIG. 12.

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成14年6月27日（2002. 6. 27）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ第一表面（26）及び第二表面（27）を有する炭化珪素基板（20）；

該炭化珪素基板を完全に貫通して延びているビア（37）；

該炭化珪素基板の該第一表面上において該ビアの上にある導電性コンタクト（25）；

該導電性コンタクトが電氣的コンタクトを含んでいる該基板において形成されるデバイス（22，24）；

該半導体デバイスの少なくとも部分が炭化珪素エピ層上にあつて、また該デバイスに対する該導電性コンタクトが該エピ層上にある、該基板の該第一表面上にある炭化珪素エピ層；

該デバイスを含む該全エピ層をカバーするポリマーコーティング（31）；及び

該研磨された透明基板の該第二表面上にある、インジウム・錫・酸化物及び酸化マグネシウムから成る群より選択される透明層（34）を含む、炭化珪素において形成される半導体デバイス。

【請求項2】 それぞれ第一表面（26）と第二表面（27）とを有する炭化珪素基板（20）；

該炭化珪素基板を完全に貫通して延びている導電性ビア（40，41）；

該炭化珪素基板の該第一表面上において該ビアの上にある導電性コンタクト（25）；

該導電性コンタクトが電氣的コンタクトを含んでいる該基板において形成され

るデバイス（22，24）；

該半導体デバイスの少なくとも部分が炭化珪素エピ層上にあつて、また該デバイスに対する該導電性コンタクトが該エピ層上にある、該基板の該第一表面上にある炭化珪素エピ層；及び

該デバイスを含む該全エピ層をカバーするポリマーコーティング（31）を含む、炭化珪素において形成される半導体デバイス。

【請求項3】 該インジウム・錫・酸化物層上にフォトレジスト層を更に含む請求項1又は請求項2記載の回路前駆体。

【請求項4】 該ビアが、該フォトレジストから、該デバイスのための該導電性コンタクトへと、該前駆体を貫通して延びている請求項1又は請求項2記載の回路前駆体。

【請求項5】 該炭化珪素基板の少なくともいくつかの部分が、半絶縁性である請求項1又は請求項2記載のデバイス又は前駆体。

【請求項6】 該導電性コンタクトが、インジウム・錫・酸化物を含む請求項1又は請求項2記載の回路前駆体。

【請求項7】 該炭化珪素基板を完全に貫通して延びている2又はそれ以上のビアを含み、該ビアそれぞれが、該基板におけるデバイスに対して電氣的コンタクトを形成している導電性コンタクトで、該基板の該第一表面上においてカバーされている請求項1又は請求項2記載のデバイス又は前駆体。

【請求項8】 該炭化珪素基板が、半絶縁性であり；且つ

該第一表面上において複数の導電性コンタクトを含んでいる、該基板の該第一表面上で又は該第一表面中において形成されるマイクロ波回路；及び

該導電性ビアのそれぞれが、該炭化珪素基板の該第一表面と該第二表面との間に完全な電路を形成するために、該導電性コンタクトの1つにおいて終端している、該基板を完全に貫通して延びている複数の該ビアを更に含む請求項2記載の半導体デバイス。

【請求項9】 請求項8記載のモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）。

【請求項10】 該少なくとも1つのエピ層において形成される該マイクロ

波回路の少なくとも部分；

該エピ層上で形成される該導電性コンタクト；及び

該エピ層を貫通して、ならびに該基板を貫通して、該コンタクトへと延びている該ビア

を更に含む請求項9記載のMMIC。

【請求項11】 該炭化珪素基板の該第一表面上の所定の位置に導電性エッチング停止材料（25）を配置する工程；

該基板の該第二表面を研削する工程；

該研削された表面を研磨する工程；

該研磨された表面上に、インジウム・錫・酸化物及び酸化マグネシウムから成る群より選択される透明層（34）を配置する工程；

インジウム・錫・酸化物の該透明層上にフォトレジスト（35）を配置する工程；

該フォトレジストを現像して、該基板の該反対表面上にある該導電性エッチング停止材料に関して光学的に位置合わせされたポイントで開放する、該フォトレジスト上でマスクを光学的に位置合わせする工程；

該エッチングされたビアが、該基板を完全に貫通して、該導電性エッチング停止材料に達するまで、該マスクングされた第二表面から、該基板においてビア（37）をエッチングする工程；及び

該基板の該第一表面上にあるデバイス（22，24）の中に、該基板の該第一表面上にある該導電性エッチング停止材料を組み込む工程を含む、該基板の反対側上に第一表面（26）と第二表面（27）とを有する炭化珪素基板（20）上においてデバイスを作製する方法。

【請求項12】 該基板をマスクング及びエッチングする工程の前に、該導電性エッチング停止材料を、該デバイス中に組み込む請求項11記載の作製方法。

【請求項13】 該ビアを金属化して、該デバイスに対する導電性接続を形成する工程を含む請求項11記載の作製方法。

【請求項14】 該基板の該第一表面上にあるデバイスのために少なくとも

1つの金属コンタクトを有し、且つ該金属コンタクトが該エッチング停止材料を形成する、該炭化珪素基板の該第一表面上において半導体デバイスを作製する工程；及び

該ビアを金属化して、該基板の該第二表面から、該金属コンタクトまで、また該基板の該第一表面上にあるデバイスまで、電氣的コンタクトを提供する工程を含む、望ましくないインダクタンスを引き起こし得るワイヤーボンディングを排除しつつ、該炭化珪素基板上において集積回路を作製する請求項11記載の作製方法。

【請求項15】 該第一表面上において該金属コンタクトを作成する工程が、該第一表面上にインジウム・錫・酸化物コンタクトを堆積させる工程を含む請求項14記載の作製方法。

【請求項16】 金コーティングで該インジウム・錫・酸化物コンタクトをカバーする工程を更に含む請求項15記載の作製方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 01/10289
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01L21/04 H01L23/522 H01L21/768		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) WPI Data, EPO-Internal, PAJ, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	CHO H ET AL: "High density plasma via hole etching in SiC" 47TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE AMERICAN VACUUM SOCIETY, BOSTON, MA, USA, 2-6 OCT. 2000, vol. 19, no. 4, pt.1-2, pages 1878-1881, XP002176297 Journal of Vacuum Science & Technology A (Vacuum, Surfaces, and Films), July-Aug. 2001, AIP for American Vacuum Soc, USA ISSN: 0734-2101	1, 2, 6-8, 25, 34-38
A	the whole document — — — — — -/-	9-24, 26-33
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (see specification) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
30 August 2001		19/09/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5516 Patentplan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3018		Authorized officer Kirkwood, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Intern PCT/US 01/10289
G.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LEERUNGNARAT P ET AL: "Via-hole etching for SiC" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B (MICROELECTRONICS AND NANOMETER STRUCTURES), SEPT. 1999, AIP FOR AMERICAN VACUUM SOC, USA, vol. 17, no. 5, pages 2050-2054, XP002176298 ISSN: 0734-211X	34-38
A	the whole document	1-33
P,X	CHABERT P ET AL: "High rate etching of 4H-SiC using a SF/sub 6//O/sub 2/ helicon plasma" APPLIED PHYSICS LETTERS, 17 APRIL 2000, AIP, USA, vol. 76, no. 16, pages 2310-2312, XP002176299 ISSN: 0003-6951	34-38
A	the whole document	1-33
X	WANG J J ET AL: "Inductively coupled plasma etching of bulk 6H-SiC and thin-film SiCN in NF/sub 3/ chemistries" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY A (VACUUM, SURFACES, AND FILMS), JULY-AUG. 1998, AIP FOR AMERICAN VACUUM SOC, USA, vol. 16, no. 4, pages 2204-2209, XP002176300 ISSN: 0734-2101	34-38
A	cited in the application the whole document	1-33
A	EP 0 663 693 A (TEXAS INSTRUMENTS INC) 19 July 1995 (1995-07-19) the whole document	1-38
A	US 5 343 071 A (HUANG JOHN C ET AL) 30 August 1994 (1994-08-30) the whole document	1-38

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 01/10289

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0663693 A	19-07-1995	US 6028348 A	22-02-2000
		JP 8008272 A	12-01-1996
		US 5710068 A	20-01-1998
US 5343071 A	30-08-1994	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AE, AG, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW

Fターム(参考) 4M104 AA03 AA04 BB15 BB36 CC01
DD37 DD52 DD64 DD65 DD71
DD72 FF02 FF13 FF17 FF22
FF27 FF31 GG12
5F033 GG01 GG02 HH13 HH18 HH35
HH38 JJ01 JJ07 JJ13 JJ18
KK38 MM05 MM11 MM13 MM30
NN06 NN07 PP15 PP27 QQ08
QQ12 QQ13 QQ15 QQ16 QQ19
QQ20 QQ24 QQ27 QQ35 RR22
WW00 WW01 XX01 XX27

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.